

様式 C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成 23 年 4 月 18 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560516

研究課題名（和文） 屋根面ブレース代替補強による天井板落下防止及び地震荷重伝達の性能向上設計と検証法

研究課題名（英文） Performance Improving Design and Verification of Prevention from Ceiling Board Falling and Seismic Load Transmit

研究代表者

石川 浩一郎（ISHIKAWA KOICHIRO）

福井大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：50168192

研究成果の概要（和文）：本研究では、多雪区域に建つ学校体育館等でしばしば用いられる 1 階が RC 架構と 2 階が軸組筋違構造の混構造を対象とした。そして、北陸地方に建つ学校体育館の構造データを収集し、本構造の解析モデルを構築するとともに、EP 型単層ラチスシェルの地震力伝達性能の評価方法を示した。すなわち、本単層ラチスシェルの張間方向における水平地震荷重伝達性能に及ぼす要因を設定パラメータとして本構造の限界値と応答値の簡便な計算法の提案及び妥当性を示した。

研究成果の概要（英文）：This study deals with the single layer lattice EP (Elliptic Parabolic) shell ceiling structure with the vertical plane frames such as a plane arch trussed frame. The static numerical analyses of the structure are carried out to investigate the behavior such as the displacement and the stress. And the validity of the practical calculation method is shown in comparison with the analyses and the other horizontal structure element such as X shape braces. It is also shown that the method is useful for understanding the structural behavior and determining the member of the lattice shell.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
2008 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
2010 年度	600,000	180,000	780,000
総 計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：建築構造

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：学校体育館、水平構造要素、地震荷重伝達能力、EP 型単層ラチスシェル、屋根面ブレース、部材設計、応答制御、簡易検定法

1. 研究開始当初の背景

大スパン建築構造は、スポーツホール等の大規模集客施設、学校等公共施設の屋内体育施設、倉庫等の用途に用いられている。地震災害直後では、周知のように、震災直後より学校体育館等が、一時避難場所として活用され、被災時における大スパン構造の果たす役割の重要性が広く一般に認識された。2004 年新潟県中越地震における学校体育館を含めた文教施設の地震被害は、建築学会文教施設委員会耐震性能小委員会による文教施設

の耐震性能等に関する調査研究報告書において詳細な被害状況、被害形態の特徴、被害の原因等が報告されている。これによれば、非構造部材の被害は建物本体に追従できない取り付けとなっていることに起因している。また、応急避難場所としての使用状況等については、250 校（調査対象学校）のうち、58 校（23.2%）が施設の全部又は一部を避難所として使用できなかった。そして 50 校（20.0%）が避難所として使用しなかったが、大きな被害はなく使用できる状態にあった

と報告されている。避難所として使用できなかった理由は、21校(8.4%)が建物自体の構造被害のため、31校(12.4%)が非構造部材等の被害のため、そして6校(2.4%)がその他の理由で校地に亀裂が生じたため、工事中であったため、学校までの通路が崩壊したため等によるものと報告されている。避難所として使用できなかった体育館は、その2/3が非構造部材の被害が原因であった。

また、最近3～4年間の地震建物被害の特徴は、被害構造部材の被害がなくとも非構造部材の被害は発生している。地震災害直後の避難所としての役割を期待される学校体育館等においては、非構造部材の被害のみの理由で避難所として使用されなかった事例も過去の地震災害で数多くあった。学校の体育館や公共スポーツホール等の大スパン建築物の耐震診断・補強は、「屋内運動場等の耐震性能診断基準(平成18年版)」(文部科学省大臣官房文教施設企画部)等に基づいて行われている。対象とする空間構造の構造形式に応じて適用する基準等を定めて、その耐震診断または補強計画を進めていくことになる。このときに、層間変形角を予測して非構造部材の耐震性も検討しているが、 I_s (構造耐震指標)と F 値(じん性指標)では層間変形角を求めることは難しい。したがって、特に非構造部材の損傷限界変形角と応答予測(層間変形角)をふまえた性能設計と検証法が必要となる。

2. 研究の目的

本研究では、まず既存空間構造の耐震性能評価において変形が評価尺度として重要であること、学校体育館を対象として過去の地震被害の特徴、特に残留変形に着目して被害との関連について分析する。また、耐震性能が低いと考えられる桁行方向の振動特性・性状、補強効果等を検討する。学校体育館の構造形式は、張間方向と桁行方向で異なっているものが多い。すなわち、張間方向は、山形架構またはアーチ架構が多く用いられており長期荷重が支配的な大スパン構造である。一方で、桁行方向では、ギャラリーレベルで1層目がRC架構で2層目がS造軸組筋違架構からなる混構造となっているものがしばしば用いられている。このような混構造においては、2層目の剛性が1層目に比べて著しく小さいために2層目の応答が増幅する振動特性となることが知られている。したがって、桁行方向の2階で耐震補強が必要となることが多い。2階に筋違をいれて補強する場合、2階の耐震性能と同等の性能が屋根構造に求められる。学校体育館ほどの規模の大スパン建築構造の張間方向では、屋根面ブレース等によって平面鉛直架構群を一体とすることが多い。屋根構造が十分な架構間の地震力の

荷重伝達機能を果たすことができれば、構造群としての協働効果が期待できる。また、桁行方向では、屋根の地震力を屋根面構造により桁行方向の2面の鉛直架構まで伝える必要がある。学校体育館等の屋根は、屋根面ブレースが地震荷重を伝達する役割を担っている場合が多いが、施工のうえで屋根面ブレースを補強するには施工及びコスト面で困難を伴う。

本研究では、多雪地に建つ学校体育館等の桁行方向でしばしば用いられる1階のRC架構と2階の軸組筋違構造の混構造を対象とし、補強後の2階の耐震性能と同等の地震荷重伝達性能をもたせる単層ラチスシェルとする構造すなわち単層ラチスシェルを天井材として屋根に組み込むことで屋根の耐震補強の施工性、天井落下防止機能及び耐震性能を飛躍的に向上させるとともに、その性能向上設計法の提案と検証を試みる。

3. 研究の方法

本研究では、学校体育館を想定した大スパン鉛直平面架構をEPまたはHP曲面斜交格子状の屋根型構造を天井材として組み込むことで屋根面を一体とした学校体育館規模の大スパン建築物を対象とし、以下の研究方法を用いた。

(1) ラチスシェルの節点座標、部材の節点接続情報等データ生成システムを英国サリー大学空間構造研究所Nooshin教授のもとで開発されたスペースフレームの形態生成プログラム言語「FORMIAN」及び一般的に用いられているCADソフトを用いて構築する。

(2) 単層ラチスシェル構造の力学的特性を屋根の水平地震力伝達性能に基づき、その応答性能の解明と性能設計の構築を行う。

(3) 屋根面の桁行方向は次の性能が求められる。すなわち、屋根面直下の鉛直要素の耐震性能を発揮させるためには、必要最低限の地震力を屋根面の伝達耐力によってその保有水平耐力(強度指標 C 値)を担保する必要がある。具体的には、①最近3年間の地震被害現地調査による被害分析、特に筋違の座屈や破断等下部構造の損傷と天井板の落下の関連、②地震被害と弾塑性地震応答解析との関連による分析、特に解析による最大層間変形角と天井板落下との関連に基づき応答値と限界値を明確にする。

(4) 単層ラチスシェル構造の力学的特性については、現在までに次のことを明らかにして、成果をすでに発表している。すなわち、単層ラチスシェルに作用するせん断力は斜材でほぼ均等に分担すると仮定し、仮想仕事

法により変位、軸力、1次固有周期の実用的な簡便計算法を提案するとともに妥当性を示した。本研究では、まずこの成果をふまえて1自由度振動モデルに縮約し、その弾性地震応答予測法を提案する。次に、部材の復元力特性を考慮した弾塑性地震応答解析と1自由度振動モデルによる応答スペクトルの比較・検討をふまえながら、性能設計法と検証法を確立するために必要な資料の蓄積を行う。

(5) 山形、アーチ形平面架構を単層ラチスシェルによって剛床化したときの補強効果を検証するとともに、特に屋根面直下の桁行方向2層目の耐震性能を保証しうる単層ラチスシェル構造の水平地震力伝達能力の性能設計法と検証法を確立する。

4. 研究成果

学校体育館ほどの規模の大スパン建築構造の張間方向では、屋根面ブレース等の水平構造要素によって平面鉛直架構群を一体とすることが多い。屋根構造が十分な架構間の地震力の荷重伝達機能を果たすことができれば、構造群としての協働効果が期待できる。また、桁行方向では、屋根の地震力を屋根面構造により桁行方向の2面の鉛直架構まで伝える必要がある。学校体育館等の屋根では、屋根面ブレースが地震荷重を伝達する役割を担っている場合が多いが、施工のうえで屋根面ブレースを補強するには施工及びコスト面で困難を伴う。本研究では、多雪区域に建つ学校体育館等でしばしば用いられる1階がRC架構と2階が軸組筋違構造の混構造を対象とした。そして、北陸地方に建つ学校体育館の構造データを収集し、本構造の解析モデルを構築するとともに、EP型単層ラチスシェルの地震力伝達性能の評価方法を示した。すなわち、本単層ラチスシェルの張間方向における水平地震荷重伝達性能に及ぼす要因を設定パラメータとして本構造の限界値と応答値の簡便な計算法の提案及び妥当性を示した。また、アーチトラス架構を単層ラチスシェルによって剛床化したときの地震荷重伝達能力を検証するとともに、屋根面直下の桁行方向2層目の鉛直耐震要素の性能を保証しうる単層ラチスシェル構造の水平地震力伝達能力の簡易検定法を確立した。

さらに、水平地震力が張間方向に作用した際の単層ラチスシェルを有する中間架構の応答を簡便に予測できることを示し、本計算法の精度を確認した。そして、本計算法により地震力伝達能力を保有するために必要な単層ラチスシェルの斜材の必要断面積を簡便に推定できることも示した。本研究成果は次のようにまとめることができる。変位・軸力等の安全性に関する検定を可能にすると

ともに、本仮定断面に関する用いて適切な部材の選定、安全性の検定について構造形式に対応した設計が可能になるものと言える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① 松下千裕、石川浩一郎、学校体育館等の水平構造要素による張間方向中間架構の変位制御、構造工学論文集、57B、査読有、2011、pp.163-168
- ② 石川浩一郎、松下千裕、大久保昌治、檜山裕二郎、Damaged Control Design by Using Single Layer Lattice EP Shell Ceilings in Spatial Structures Subjected to A Seismic Load、Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium、査読有、2010、11 pages CD-R
- ③ 石川浩一郎、Effects of Resonance between Spatial Structures and Ceiling Systems on the Seismic Response、Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium、査読有、2009、7 pages CD-R
- ④ 石川浩一郎、井上圭一、Damage of non-structural members of gymnasiums due to earthquake motions and dynamic analysis、Proceedings of 4th international Conference on Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM'08)、査読有(アブストラクト)、2008、6 pages CD-R

[学会発表] (計4件)

- ① Dinh Thi Thu Ha、松下千裕、石川浩一郎、学校体育館等における水平構造要素による張間方向鉛直架構の変形制御(その2. 数値解析による簡易計算法の精度検証と水平構造要素の設計について)、日本建築学会大会(北陸)学術講演会、2010.9.9、富山大学(富山)
- ② 松下千裕、Dinh Thi Thu Ha、石川浩一郎、学校体育館等における水平構造要素による張間方向鉛直架構の変形制御(その1. 水平及び鉛直架構要素のモデル化と変位及び軸力等の簡易計算法の提案)、日本建築学会大会(北陸)学術講演会、2010.9.9、富山大学(富山)
- ③ Dinh Thi Thu Ha、石川浩一郎、単層ラチスシェルを用いた天井による屋根面の応答性能、日本建築学会大会(東北)学術講演会、2009.8.27、東北学院大学(仙台)
- ④ 石川浩一郎、檜山裕二郎、大久保昌治、単層ラチスシェルを用いた天井による屋根

面の応答性能、日本建築学会大会（中国）
学術講演会、2008. 9. 18、広島大学（広島）

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石川 浩一郎（ISHIKAWA KOICHIRO）

福井大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：2 0 5 6 0 5 1 6

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし